

铝合金的高速切削加工技术研究

王 勇 高 帅 张立山 李海波
北京航天爱锐科技有限责任公司 北京 100076

摘 要: 铝合金高速切削加工各环节相互影响, 本文探讨了铝合金性能与高速切削技术的特点, 详细分析了铝合金高速切削加工的关键技术, 从机床配置、刀具选择到切削工艺等方面进行了深入阐述, 通过优化这些关键技术, 可以提高铝合金高速切削加工的效率 and 精度, 延长刀具使用寿命, 降低加工成本, 为铝合金在制造业的广泛应用提供有力支持。

关键词: 铝合金; 切削加工; 技术

引言

铝合金因其轻质、高强、耐腐蚀等优良性能, 在航空航天、汽车制造、机械制造等领域得到广泛应用。而高速切削技术作为一种先进的加工方法, 能够显著提高铝合金的加工效率和精度, 本文将从铝合金的金属性能和高速切削特点出发, 探讨铝合金高速切削加工的关键技术, 包括机床配置、刀具选择以及切削工艺等方面, 以期铝合金的高速切削加工提供理论参考和实践指导。

1 铝合金性能与高速切削特点

1.1 铝合金金属性能

纯铝密度小、熔点低、可塑性强、抗腐蚀性能好, 但是由于纯铝强度低, 无法被用作结构材料。经过长期的实践, 在铝合金中添加其他的重金属元素能够增强铝合金的硬度和耐腐蚀性, 并可以使其高温耐热大规模地应用于制造业。在铝合金的生产程序中, 会产生加工杂物附着铝合金外表, 造成铝合金外表凹凸不平, 由于铝合金易热胀冷缩, 且在加工过程排热较困难, 也会导致铝合金厂不能生产精密零部件, 虽然铝合金可以大量被应用, 不过铝合金的生产也面临许多困难, 因此必须进一步的改进铝合金的生产。

1.2 高速切削的特点

高速切削的特点主要表现在他与普通切削加工技术的不同上, 一是生产工作效率明显提高, 超高速切削在切割材料上大幅度地减少了机械时间和辅助费用、使因为切割所耗费的工时减少了约一零点五左右。二是材料切割的精度较高, 高速切削单位切削力比相同的切割层参数, 单位切削用量明显要低许多, 同时切削力还能在保证高速度的同时适当降低进给量, 使减幅进一步增加, 降低在刀具磨削过程中发生畸变的可能性, 高速切

削液使进入刀具的磨削热的比例大幅度地降低, 加工表面受热时间短、切削温度低, 所以热影响区和热影响程度都较小, 有利于提高加工精度, 有利于获得低损伤的表面结构状态和保持良好的表面物理性能及机械性能。三是可获得表面很高的完整性, 当对机械钢材实施高速切割后, 高速切割一方面提高了切割工序的制造质量, 另一方面它使用的进给量更小, 使工件表面看起来更加平滑^[1]。在高速切割的过程中, 由于切割强度和变形范围极小, 机械的激振频率远大于切割时加工系统的固有频率, 所以加工表面受到机械切割振动产生的冲击相对较小, 而且大部分的加工物质由许多化合物混合生产而成, 再经过高温热量的情况下, 容易改善金属材料的特性, 而高速切割则以高、低热传入比率使得被加工物质表面保持较稳定的物理性能。

2 铝合金高速切削加工关键技术

2.1 机床配置

2.1.1 高速主轴

铝合金高速切削加工的关键技术首要关注机床的配置, 其中高速主轴的设计与选择尤为关键, 它的性能直接影响切削速度、加工精度和机床整体寿命, 为满足铝合金材料高速切削需求, 它必须能在短时间内快速提速且保持长时间高速稳定运行。现代高速切削机床常采用电主轴结构, 将机床主轴与电机主轴合并成一体化的电主轴单元, 这种设计大幅减少传统机械传动中的能量损失和振动, 提高传动效率和精度。电主轴内部构造复杂, 定子是电主轴的固定部分, 通过电磁感应原理为转子提供旋转驱动力, 转子直接连接机床主轴, 将电能转化为机械能驱动主轴高速旋转, 旋转变压器用于实现主轴在高速旋转过程中的精确位置控制和速度反馈, 确保主轴在高速运转时保持极高的定位精度和动态响应能力。冷却与润滑系统是电主轴持续高效运行的重要保

通讯作者: 范晓雷, 1981年3月, 硕士, 高工。研究方向机械制造及自动化, 工艺技术, 数控加工技术。

障,在高速切削过程中,电主轴会产生大量热量和磨损,若不及时处理会严重影响其性能和寿命,所以现代电主轴普遍采用先进冷却技术和高效润滑系统,通过循环冷却液体或气体以及精密润滑油脂对主轴实时冷却和润滑,有效降低工作温度、减少磨损并延长使用寿命。电主轴设计还需充分考虑刚性和稳定性,在高速切削时,主轴要承受巨大切削力和振动,刚性不足会导致切削精度下降甚至损坏机床,所以电主轴制造材料要具备高强度、高硬度、高耐磨性等特点,同时通过优化结构设计,如采用精密轴承组合、合理支撑布局等进一步提高主轴的刚性和稳定性。

2.1.2 高速辅助部件

直线电机驱动系统是一种可直接将电能转化为直线运动机械能的装置,它摒弃了传统机械传动中的丝杠、螺母等中间环节,实现“零传动”的高速驱动,这种设计不但大幅减少能量损失和传动误差,而且显著提高系统的动态响应速度和定位精度。在铝合金高速切削加工中,该系统因惯性小、磨损小、刚度大而成为实现高速和高精度驱动的理想之选,直线电机驱动系统惯性小这一优势明显,在高速切削时,机床需快速响应加工指令并频繁加速和减速,传统机械传动系统因惯性较大,难以在短时间内精确地加速和减速,这会使加工效率降低,甚至出现过切或欠切现象,而直线电机驱动系统凭借小惯性可迅速响应加工指令,实现高速、平稳的加减速过程,极大地提高了加工效率和精度。磨损小是直线电机驱动系统的又一突出特点,在长时间高速切削过程中,传统机械传动系统的丝杠、螺母等部件会因摩擦产生磨损,导致传动精度降低甚至故障,直线电机驱动系统因直接驱动减少了中间传动环节,降低磨损程度,延长使用寿命,它还能采用无接触式设计,进一步减少磨损和摩擦,提升系统的稳定性和可靠性。刚度大也是直线电机驱动系统在铝合金高速切削加工中的重要优势,在高速切削过程中,机床要承受巨大切削力和振动,若机床刚度不足,会使切削精度下降甚至损坏机床,而直线电机驱动系统因设计合理、刚度较高,能有效抵抗切削力和振动的影响,保持机床的稳定性和精度。

2.2 刀具选择

2.2.1 刀具材料

硬质合金是铝合金高速切削加工常用刀具材料,因高硬度、高耐磨性和良好热稳定性而闻名,在高速切削铝合金时,它能保持锋利切削刃,降低切削阻力,提升切削效率,它的抗弯强度和韧性较高,可承受较大切削负荷,不易断裂或崩刃,而且制造工艺成熟、成本相对

较低。陶瓷刀具是适用于铝合金高速切削加工的另一种优质刀具材料,具有高硬度、高耐磨性和高化学稳定性等特点,在高速切削过程中能保持极佳切削性能,与硬质合金相比,它的硬度更高、耐磨性更强,更适合加工硬度较高的铝合金材料,热稳定性也较好,在高温下能稳定切削,不易产生热变形或热裂纹,不过其韧性相对较低、抗冲击能力较弱,在加工过程中需特别注意避免碰撞和冲击。立方氮化硼(CBN)刀具是近年发展起来的新型刀具材料,硬度和耐磨性极高,甚至超过陶瓷刀具,在高速切削铝合金时能保持极长使用寿命,减少刀具更换次数,提高加工效率,同时具有良好热稳定性和化学稳定性,在高温和恶劣环境下能稳定切削,但因其制造成本高且对加工条件要求苛刻,在铝合金高速切削加工中的应用相对有限。在选择铝合金高速切削加工的刀具材料时,除了考虑材料的耐磨性、强度和韧性外,还需考虑刀具的几何形状、涂层技术以及切削参数等因素,合理的刀具几何形状可优化切削过程,减少切削力和切削热,提高切削效率和表面质量,涂层技术能进一步提高刀具耐磨性和抗黏附性,延长刀具使用寿命,而且切削参数的选择至关重要,它直接影响切削过程的稳定性和刀具的耐用性。

2.2.2 刀具结构

刀具的几何结构设计需要综合考量切削刃的形状、角度、刃口半径以及刀具的整体形状等多方面因素,切削刃的形状和角度对切削过程中的切削力、切削热以及切屑形成有着直接影响,在铝合金高速切削时,常采用锋利切削刃和适当切削角度,以此减少切削阻力、降低切削温度,进而提高切削效率和表面质量,同时合理的刃口半径能平衡刀具锋利度与强度,保证刀具在高速切削过程中既能维持锋利切削刃,又能承受较大切削负荷。刀具的整体形状设计也极为关键,合理的刀具形状可优化切削路径,减少切削中的振动和噪声,提高加工稳定性,在铝合金高速切削中,使用具有较大前角和较小后角的立铣刀能减小切削阻力、提高切削效率,刀具排屑槽设计要考虑切屑顺畅排出,防止切屑在刀具上堆积,避免切削刃磨损和积屑瘤形成。涂层技术也是提升刀具性能的重要方式,涂层技术是在刀具表面涂覆一层或多层特殊材料,可显著提高刀具的耐磨性、抗黏附性和抗氧化性,延长刀具使用寿命,在铝合金高速切削中,常用的涂层材料有氮化钛(TiN)、碳化钛(TiC)、氧化铝(Al_2O_3)以及复合涂层等,这些涂层材料耐磨性和抗黏附性优异,能有效减少切削过程中积屑瘤和切屑黏附现象,保持刀具锋利度和切削性能^[2]。涂层

技术的选择要依据具体加工条件和刀具材料确定,不同涂层材料性能特点不同,适用于不同加工环境和材料,并且刀具涂层技术还需考虑涂层与刀具基体的结合强度以及涂层的均匀性和厚度等因素,良好的结合强度能保证涂层在切削过程中不易脱落,维持刀具完整性,而涂层的均匀性和厚度直接影响其性能表现,过厚或过薄的涂层都可能对刀具切削性能和耐用性产生影响。

2.3 切削工艺

2.3.1 切削参数

切削速度是指刀具相对于工件移动的速度,它对切削过程中的切削力和切削温度有着直接影响,在铝合金高速切削中,适当提高切削速度能够减小切削力、降低切削温度并提高切削效率,不过切削速度过高会使切削温度急剧上升,加剧刀具磨损,甚至造成刀具损坏,所以切削速度的选择要在保证切削效率的同时,兼顾刀具耐用性和加工质量。进给量是刀具在切削过程中每转一圈所切除材料的厚度,它的大小直接影响切削效率和加工表面质量,在铝合金高速切削时,适当增加进给量可提高切削效率,但进给量过大则会使切削力增大、刀具磨损加剧、加工表面质量降低,因此进给量的选择要在保障切削效率的同时确保加工表面质量达标。切削深度是刀具切入工件的深度,它决定了每次切削所切除材料的体积,在铝合金高速切削中,切削深度的选择需综合考虑机床刚性、刀具强度和加工效率等因素,适当的切削深度可减小切削力、降低切削温度并提高加工效率,然而切削深度过大也会导致切削力急剧增大,给机床和刀具带来过大负荷,甚至引发机床振动和刀具损坏^[3]。在确定切削参数时,还需考虑铝合金的材料特性,铝合金硬度较低、导热性良好,但容易产生黏附和积屑瘤现象,所以选择切削参数时要采取适当措施,以此减少切削过程中的黏附和积屑瘤现象,保持刀具的锋利度和切削性能。机床性能和刀具条件也是影响切削参数选择的重要因素,机床的刚性、精度和稳定性直接影响切削过程的稳定性和加工质量,刀具的材料、几何结构和涂层技术决定了刀具的耐用性和切削性能,因此在选择切削参数时,要充分考虑机床和刀具的实际情况,确保切削参数与机床性能和刀具条件相匹配。

2.3.2 冷却方式

铝合金高速切削加工中常用的冷却方式主要有油雾冷却、气液混合冷却等,它们各具特点,适用于不同加工条件与需求,油雾冷却是把切削油以微小油滴形式喷入切削区域,优点众多,冷却效果佳、润滑性能好且对环境影响较小,在切削中油雾能快速带走切削热,降低切削区域温度,有效防止工件热变形和刀具磨损,油雾里的切削油还可以起到润滑作用,减小切削力,提升切削效率。气液混合冷却是将气体和切削液混合后喷入切削区域,它结合了气体冷却和液体冷却的优点,既能迅速带走切削热,又能减少切削液用量,降低加工成本,在切削时,气体可迅速带走切削区域热量,切削液则发挥润滑和冷却的双重作用,冷却效果比单纯的气体冷却或液体冷却更好,对环境影响也相对较小。但是气液混合冷却的控制系统较复杂,需精确控制气体和切削液的混合比例和喷射速度,以保障最佳冷却效果,在选择冷却方式时,要依据具体加工条件、工件材料、刀具类型以及加工要求等因素综合考量,对于铝合金高速切削加工来说,因铝合金材料特性和加工要求不同,冷却方式的选择也有差别。还要注意冷却方式的环保性和经济性,选择冷却方式时应优先考虑对环境影响小、易处理的方式,并且要兼顾成本效益,选择既能满足加工要求又能降低加工成本的冷却方式。

结语

综上所述,铝合金高速切削加工是一个复杂但极具价值的技术领域。从机床配置到刀具选择,再到切削工艺,每个环节都相互关联且对最终加工效果有着关键影响,合理运用高速主轴、合适的刀具材料与结构、优化的切削参数和冷却方式,能有效克服铝合金加工难题,提高加工质量和效率,推动铝合金在高端制造领域的更广泛应用,促进制造业的发展。

参考文献

- [1]常利民.高速切削加工技术在数控机床中的应用[J].科学技术创新,2020,05:153-154.
- [2]杨进德.数控高速切削加工技术在机械制造中的应用研究[J].南方农机,2020,5118:162-163.
- [3]张翔宇,路正惠,彭振龙,张德远.钛合金的高质高效超声振动切削加工[J].机械工程学报,2020,57(05):133-147